PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE NOPAL VERDURA

Rigoberto E. Vázquez-Alvarado
Maestro Investigador. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Responsable del Banco de Germoplasma de Nopal. Facultad de Agronomía de la UANL. Carretera Zuazua–Marín km 17.5, C.P. 66700. Marin, N.L. MÉXICO. Tel. (825)2480101 Extensión 112. Correo-e: r_vazquez_alvarado@yahoo.com.mx

Ricardo David Valdez-Cepeda y Fidel Blanco-Macías
Universidad Autónoma Chapingo, Centro Regional Universitario Centro Norte, MCDRR. C. Cruz del Sur No. 100, Col. Constelación C.P. 98085 El Orito Zacatecas, Zac. Apdo. Postal 196, CP98001, Zacatecas, Zac., MÉXICO. Tel. (492)9246147. Correo-e: vacrida@gmail.com

Ma del Carmen Ojeda-Zacarías
Maestro Investigador. División de Estudios de Posgrado e Investigación. Facultad de Agronomía de la UANL. Carretera Zuazua–Marín km 17.5, C.P. 66700. Marin, N.L. MÉXICO. Tel. (825)2480101 Extensión 112. Correo-e: ojedacz@yahoo.com.mx

José Romualdo Martínez López
Campo Experimental General Terán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km 31 Carr. Montemorelos-China. C.P. 67400. Apartado Postal 3 General Terán, Nuevo León, MÉXICO. Tel (826)26-70539 y 26-70690. Correo-e: romualdo_martinez@hotmail.com

Introducción

La hidroponía se ha venido instituyendo como una alternativa destacada para producir alimentos ya sea en las zonas rurales y/o urbanas. En la actualidad el crecimiento de la mancha urbana de las ciudades, ha estado provocando un decremento acelerado de los terrenos agrícolas, donde los ciudadanos de las mega-urbes, cada vez se están viendo orillados ha producir alimentos para su propio consumo, usando las áreas que tienen a su disposición. La producción agrícola en los poblados rurales, ha venido decreciendo debido al agotamiento y contaminación de los suelos. Lo anterior nos esta sugiriendo el uso de sistemas más sofisticados como los hidropónicos, donde estos sistemas no pueden ser afectados por la calidad del agua y/o contaminación del suelos, ajustándose a las áreas que se tengan disponibles para este efecto (Santander, 2007).

Los retos que enfrentan los sistemas hidropónicos, se basan en el costo de los fertilizantes así como de una capacitación y transferencia de tecnologías adecuada para los productores de estas regiones problemáticas. La hidroponía puede permitir mejorar las condiciones de vida, e incrementar el ingreso y la alimentación de los productores.

Por otra parte las zonas áridas de México se han ido incrementando paulatinamente (alcanzan un 70 % del territorio nacional actualmente), en perjuicio de las zonas agrícolas del país, lo anterior se debe a la escasez de precipitación, las temperaturas

extremas y la baja humedad relativa. Conjugando estos factores con los aspectos provocados por la deforestación, se está produciendo una pérdida acelerado de los suelos fértiles para las plantas, promoviéndose un rápido proceso de desertificación. Los árboles y las plantas son muy sensibles a estos daños y si a esto le sumamos los problemas de contaminantes química y biológica la productividad agropecuaria se observa como un verdadero reto a corto y mediano plazo. El rescate de las zonas áridas y suelos contaminados por el hombre ha sido sumamente lento, sin embargo los cambios introducidos y/o estimulados se han acumulado con extremada rapidez en los años recientes (De la Cruz, 2009).

Lo anterior nos presenta el reto de estimular la producción agropecuaria, utilizando mejores técnicas y más eficientes, sobre todo en el uso de los costosos fertilizantes y la escasa agua disponible para el riego. Una alternativa seria y eficiente para las zonas de escasa precipitación como las que tienen suelos contaminados, es la hidroponía, ésta representa una técnica en la cual los cultivos se desarrollan en una solución nutritiva. Este método se ha utilizado en forma exitosa con hortalizas de alta productividad, estimulándose la obtención de altos rendimientos, donde en nopal verdura se han tenido muy buenos resultados.

Bajo condiciones de suelos poco fértiles o poco profundos, la falta de nutrientes requiere opciones que garanticen una producción rentable donde las especies herbáceas tradicionales no ofrecen posibilidades exitosas, sin embargo el nopal verdura si permite mejores posibilidades en la región (Jorba y Vallejo, 2008).

Por lo tanto el objetivo de este trabajo fue el de revisar el estado del arte en la producción de nopal verdura bajo un sistema hidropónico.

Antecedentes

Los orígenes de la hidroponía son muy antiguos, rastreándose hasta la aparición de los Jardines Colgantes de Babilonia (en el siglo VI a.d.C), los Jardines Flotantes de China y las Chinampas mexicanas. En los tiempos modernos se menciona en los años treinta a W. F. Gericke (1935), catedrático de la Universidad de California, el

cual llamó a este sistema Hidroponía, palabra derivada de los vocablos griegos *Hidro* (agua) y *Ponos* (labor o trabajo), (Leiva, 2009).

Las zona de matorrales son las más abundantes en el Estado de Nuevo León, con 67.25 % del total de la superficie del estado, ubicadas en las zonas sur y noroeste formada por valles íntermontanos con algunas sierras aisladas que en sus partes altas presentan vegetación de climas templados. En estas áreas auque sus suelos no son muy adecuados para la agricultura tradicional, el clima si permitiría la producción de nopal verdura bajo sistemas hidropónicos. Donde la superficie agricultura alcanza solamente un 6.72 % del total de la superficie del estado (Gobierno del Estado de Nuevo León, 2009).

Sustratos

El término sustrato, que se aplica en agricultura, se refiere a todo material, natural o sintético, mineral u orgánico, de forma pura o mezclado, cuya función principal es servir como medio de crecimiento y desarrollo a las plantas, permitiendo su anclaje y soporte a través del sistema radical, favoreciendo el suministro de agua, nutrientes y oxígeno. El cultivo de plantas en sustrato difiere marcadamente del cultivo de plantas en suelo. Así, cuando se usan contenedores, el volumen del medio de cultivo, del cual la planta debe absorber el agua, oxígeno y elementos nutritivos, es limitado y significativamente menor que el volumen disponible para las plantas que crecen en campo abierto. (Calderón, www.viverosmininco.cl).

En la actualidad existen una gran cantidad de materiales que pueden ser utilizados para la elaboración de sustratos, y su elección dependerá de la especie vegetal a propagar, tipo de propágulo, época, sistema de propagación, precio, disponibilidad y características propias del sustrato (Hartmann y Kester, 2002)

El cultivo en suelo presenta las ventajas de amortiguar interrupciones temporales de agua y nutrimentos sin afectar seriamente el desarrollo, por lo que incrementa la eficiencia en el uso de nutrimentos y agua (Villareal *et al.,* 2002), comparado con el uso de sustrato que requiere del 20 a 30 % más de riego para evitar acumulación de

sales en el medio de cultivo, lo que significa pérdida de agua y nutrimentos. Sin embargo entre las desventajas importantes del cultivo en suelo están la presencia de enfermedades, así como los problemas de contaminación de suelos y/o metales pesados. Actualmente, está surgiendo el interés en la producción en suelo bajo condiciones protegidas o de invernaderos (Ojodeagua *et al*., 2008)

En cuanto al uso de sustratos inertes, se ha venido utilizando la lana de roca, la cual también sufre por pérdidas importantes de agua y nutrimentos por efecto del drenaje. Por otra parte el uso de tezontle como medio de cultivo se ha estudiado en la producción de hortalizas desde hace unos 15 años. El tezontle es un material considerado como inerte desde el punto de vista químico, cuyo extracto de saturación tiene un pH próximo a la neutralidad, su capacidad de intercambio catiónico es muy baja, tiene buena aireación y retención de humedad, la que varía con el diámetro de las partículas, generalmente está libre de sustancias tóxicas y tiene buena estabilidad física, además de su bajo costo de adquisición (Castellanos y Vargas, 2003).

Los medios de cultivo hidropónicos en lo general emplean el agua como solución nutritiva y medio principal, donde los sustratos más usados son: arena, grava, serrín, turba, piedra pómez o vermiculita, como sustratos de soporte y/o anclaje para las plantas. Estos pueden suministrar oxígeno, agua y nutrientes a las raíces de las plantas, simulando lo que hace el suelo en su caso.

La capacidad de retención de agua de los sustratos se determina a partir del tamaño de partículas, su forma y porosidad. El agua se retiene en la superficie de las partículas y en el espacio formado por los poros; mientras más pequeñas sean las partículas, estarán más cerca situadas unas de otras y, por tanto, mayor será el espacio de los poros y su superficie, y de aquí que mayor cantidad de agua pueda ser almacenada por éstas, lo que podría aumentar el número de días entre riegos. El sustrato debe tener una buena retención de agua, y también debe poseer un buen drenaje. Lo anterior sugiere evitar los materiales excesivamente finos, porque estos

provocan una retención excesiva de agua, lo que origina una falta de movimiento de oxígeno dentro del medio.

La elección del sustrato se determina según su disponibilidad en el mercado, su costo, calidad, así como el método de cultivo hidropónico que va a ser empleado. Un sistema hidropónico por subirrigación con reciclaje, puede usar grava y/o arena con cultivos relativamente grande, En general los sustratos no deberán contener materiales tóxico. El serrín, por ejemplo, contiene a menudo NaCl, y si este es alto, se debe lavar usando agua potable (Resh, 1992).

Otro factor importante de los sustratos, es la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la cual nos indica la capacidad de reacción del sustrato con el medio. La Figura 1 muestra los niveles de CIC que suelen presentar los ingredientes más habituales de los sustratos. Aunque en ocasiones se emplean sustratos que apenas tienen una CIC muy baja, como la perlita, la arena de cuarzo fina y gruesa y el serrín en bruto, los cuales son muy útiles como soporte y/o anclaje en plantas grandes, pues la solución nutritiva que se aporte, es la única fuente de alimento para la planta, lo cual en muchas ocasiones es lo más adecuado, para tener un balance adecuado de nutrimentos.

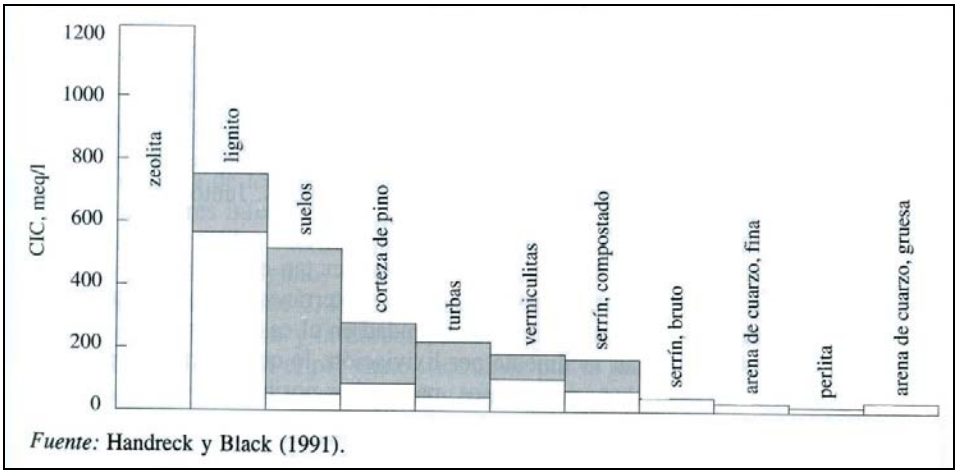

Figura 1. CIC de diferentes tipos de sustratos utilizados como medio de cultivo para soluciones hidropónicas.

Generalmente es más sencillo el manejo cuando el medio presenta cierta CIC, ya

que disminuyen los riesgos derivados de las pérdidas de nutrientes por lixiviación, a causa de los frecuentes e intensos riegos a que se someten muchas plantas cultivadas en contenedor.

Ventajas de los Cultivos Hidropónicos

La principal ventaja de un cultivo hidropónico, donde el nopal verdura puede estar involucrado, es el poder desarrollar una producción intensiva, permitiendo obtener un mayor número de cortes al año. El consumo de agua y nutrientes se reduce sustancialmente a un mínimo. Tampoco se presentan pérdidas de nutrientes en el suelo o que estos sean aprovechamiento por otras especies ajenas al nopal. Se puede calcular una óptima relación y disponibilidad de los nutrientes, lo que permitiría un crecimiento significativo, más rápido y con plantas más vigorosas.

Se puede obtiene uniformidad y calidad para el consumo humano de los productos cosechados. En los sistemas hidroponía no se presenta la necesaria rotación de cultivos, debido a la presencia de plagas y/o enfermedades o el agotamiento de la fertilidad del suelo. Por otra parte y como un factor muy importante se promueve el uso de los **espacios prediales reducidos**, que estén cercanos a la casa habitación de los interesados, (Sánchez, 2000). Otras ventajas mencionadas por diferentes autores son: que se utilizan nutrientes naturales y limpios. Puede cultivarse en lugares donde la agricultura normal es difícil o imposible, también soluciona el problema de producción en zonas áridas o que tienen problema de frío. La erosión no se presenta por no trabajar con maquinaria a campo abierto, lo que ayuda a eliminar parte de la contaminación de suelos. Permite producir cosechas fuera de estación o temporada. Se puede tener cultivos en las ciudades y/o áreas muy pobladas, pues se requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción. También se tienen grandes ahorro de agua, la cual se puede reciclar con la solución nutritiva, lo que permite un ahorro sustancial de fertilizantes (Vázquez *et al.* 2009b y http://hidroponia.biz).

Desventajas de los Cultivos Hidropónicos

Se debe conocer lo más posible, el manejo agronómico del cultivo o cultivos que se desea trabajar. Las etapas fenológicas, en su fisiología, manejo vegetativo, enfermedades, plagas que lo atacan, riegos, requerimientos nutricionales, etc. También se requiere una previa capacitación teórico-práctica del sistema hidropónico lo cual garantizaría una mejor producción.

La falta de experiencia en el manejo de las soluciones nutritivas, puede alterar su composición, afectando negativamente a las plantas. Por lo que se requiere que los técnicos le preparen las cantidades fija de cada fertilizante que se va a utilizar.

Finalmente se requiere mantener una constancia y dedicación en las labores culturales del cultivo, de otra forma se puede provocar mermas sustanciales en el rendimiento del cultivo, (Sánchez, 2000).

En cuanto a los sistemas hidropónicos, se presentan diferentes consideraciones como las siguientes: Sistema hidropónicos abierto, es el que se deja con drenaje y desecho de la solución, obedece a que la composición de la solución nutritiva se puede controlar totalmente por el productor, si se aplica un esquema conveniente de nutrición, los problemas debidos a la deficiencia de nutrientes, toxicidad, o salinidad son poco probables. En los sistemas hidropónicos cerrados se permite la recuperación y reciclaje de la solución, tienen menor consumo de agua y fertilizantes, en cuanto a los elementos calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) conservaron su concentración dentro de intervalos apropiados por su menor consumo y por la contribución constante a la dureza del agua de riego. Para un sistema de reciclaje se requiere de un análisis químico periódico, generalmente cada dos o tres semanas, para reajustar la solución nutritiva (García *et al*., 2008).

Agricultura Urbana con Nopalito de Azotea

La hidroponía es concebida también por la FAO como la Agricultura Urbana del Desecho. Donde, en cualquier espacio por chico que éste sea como balcones,

azoteas, terrazas, etc. con un reducido consumo de agua y con un pequeño esfuerzo físico, pero con mucha dedicación y constancia, se pueden obtener hortalizas frescas, sanas y abundantes en cualquier lugar disponible del hogar (Izquierdo, 2003). En la Foto 1, podemos observar la producción de nopal verdura, usando el cultivar Villanueva. Este es un esfuerzo de un particular, aprovechando los espacios libres de la azotea de su casa. En esta plantación, donde además de producir un alimento de primera calidad, también se obtuvieron beneficios colaterales sobre el calentamiento de la casa, al bloquear las plantas la insolación incidente sobre la casa. En este se puso un plástico sobre el piso, para su aislamiento y protección y posteriormente las bolsas de plástico con las plantas. El sustrato utilizado fue suelo y los riegos fueron a discreción de 2 a 3 por semana. El suelo utilizado fue un franco arcillo arenoso y se fertilizo a base de N-P-K. El control de plagas y enfermedades fue mínimo pues casi no se presentaron, debido al aislamiento de la plantación de fuentes contaminantes. Resultados similares son reportados por Massad y Guerrero (2006), los cuales reportan superficies grandes utilizadas por diferentes cultivos en el aeropuerto de Schiphol (Ámsterdam), la Biblioteca Pública de Vancouver, el Centro de Danza Laban (Londres), el Hospital de Rehabilitación Schwab (Chicago) o el Palais Omni Sports en París-Bercy (Francia) los cuales son edificios con azoteas verdes. Green roofs, eco-roofs o roof gardens es la denominación con la que se refiere a los terrados de construcciones urbanas que están total o parcialmente cubiertas de vegetación.

Reportes de Producción Hidropónica de Nopal Verdura

Calderón *et al*. (1997), reportó la evaluación hidropónica de tres cultivares de nopal: Reina, (*O. amyclaea* T.) tunero, Pelón (*O. ficus-indica* L. Mill) tunero y Milpa Alta, (*O. ficus-indica* L. Mill) Verdura y tunero, usando cuatro niveles de salinidad (2, 7, 12 y 17 dS m^{-1}). Estos fueron cultivados en un sistema hidropónico semiautomático. Como sustrato para las plantas se utilizó tezontle a una granulometría de 2 a 4 mm. La solución nutritiva empleada estuvo compuesta de N (150 mg l^{-1}), P (40 mg l^{-1}), K (225 mg l^{-1}), Ca (210 mg l^{-1}), Mg (40 mg l^{-1}), Fe (12 mg l^{-1}), Mn (2 mg l^{-1}), B (0.6 mg l^{-1}), Cu (0.1 mg l^{-1}), Zn (0.2 mg l^{-1}) y Mo (0.05 mg l^{-1}), la cual fue ajustada a un pH de 5.8. Los

resultados de este experimento señalaron diferencias significativas en el peso de materia fresca y seca entre los cultivares, observándose, una variación de la velocidad de crecimiento y extracción nutrimental entre estos. En general, el tunero pelón, alcanzó valores significativos superiores al nopal Reina y Milpa Alta, lo cual se atribuyó al efecto de la expresión del carácter genotípico de cada cultivar y a la temperatura prevaleciente durante el desarrollo del cultivo.

Foto 1. Nopal verdura de azotea. Sr. José de Villarreal Chapa. Calle Francisco I. Madero Núm. 926. Col. Chapultepec. San Nicolás de los Garza, N.L. México.

Calderón *et al*. (1997), con respecto a los gradientes de salinidad evaluados, reportaron que una CE de 2 mS cm^{-1} produjo los mayores rendimientos en materia seca en los tres cultivares, bajando progresivamente la materia seca, a medida que se incrementaba la salinidad. La extracción nutrimental manifestó un comportamiento similar al de la materia fresca y seca.

Al incrementar la CE en la solución nutritiva se observó un abatimiento en el crecimiento de materia seca y la extracción nutrimental de las plantas, lo que significó que las altas concentraciones de N, K^+ y Ca^{2+}, provocaron un desbalance de nutrimentos, lo cual pudo haber promovido un efecto antagónico de iones. Al incrementar las concentraciones de K^+ y Ca^{2+} en la solución nutritiva y mantener constante al Mg^{2+}, se favoreció un desbalance en la relación $K^+/Ca^{2+}/Mg^{2+}$, dando como resultado de antagonismo catiónico. A partir del nivel de

7 mS cm^{-1} de salinidad se observó un aumento en la concentración de K^+ y Ca^{2+} en el tejido vegetal (Cuadro 1).

Cuadro 1. Producción de materia seca y extracción nutrimental promedio de nopal bajo diferentes gradientes de salinidad a los 209 días del transplante (Calderon *et al*., 1997).

C.E.	PMS	N	P	K	Ca	Mg
mS cm^{-1}	g $planta^{-1}$			mg $planta^{-1}$		
2	13.77 a•	35.4 a	95.8 a	2914.3 a	117.3ª	233.9a
7	9.01 b	23.4 ab	82.9 ab	2234.1 b	111.9ª	93.7b
12	6.05 e	19.3 bc	33.8 b	1364.7 c	29.7b	46.7 c
17	4.07 e	9.6 c	17.1 b	812.9 c	22.8b	24.7 c

•Valores con la misma letra son estadísticamente iguales al 95%, de probabilidad.

Gallegos *et al.* (2000), evaluó bajo un sistema hidropónico la cinética de absorción de los iones NO_3^- y NH_4^+ en nopal en función de las fuentes de nitrógeno $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ y $(NH_4)_2SO_4$ a una concentración de 150 mg l^{-1}. El trabajo se establecido en macetas y se usó arena de río como medio de soporte. La arena de río se pasó por una malla de 2 mm y se lavó con una solución de ácido sulfúrico (0.2%). Gallegos *et al.* (2000), utilizo la misma formula de solución nutritiva que reportó Calderón *et al*. (1997). En cuanto a los resultados de este experimento se puede observar en la Figura 2, que se aprecia una tendencia clara a una mayor absorción de nitrógeno en forma de $N\text{-}NO_3$; registrándose un decremento en la absorción de ambos tipos de iones a los 20 días del inicio del experimento, siendo de mayor magnitud la reducción del $N\text{-}NO_3$. Se considero que la absorción del nitrógeno depende de la concentración del mismo, esto ya sea en la solución nutritiva del medio hidropónico o del suelo.

El rango de concentraciones optima de de nutrientes para un cultivo, varía de acuerdo al cultivo y a sus etapas fenológicas. Esto se aplica al nopal y a cualquier otro cultivo, así como al tipo de sustrato que se utilice. En el Cuadro 2, se presentan diferentes autores y las formulas más utilizadas de soluciones nutritivas, que han dado buenos resultados en cultivos hortícolas, debido a que proporcionan una zona de seguridad entre los valores mínimos y óptimos de nutrientes (Savvas, 2001).

En la Figura 3, los cambios registrados revelan un ligero incremento del pH de la solución nutritiva suministrada con NO_3^-, en tanto que en el caso del tratamiento con NH_4^+, la modificación del pH fue a la baja en forma más marcada.

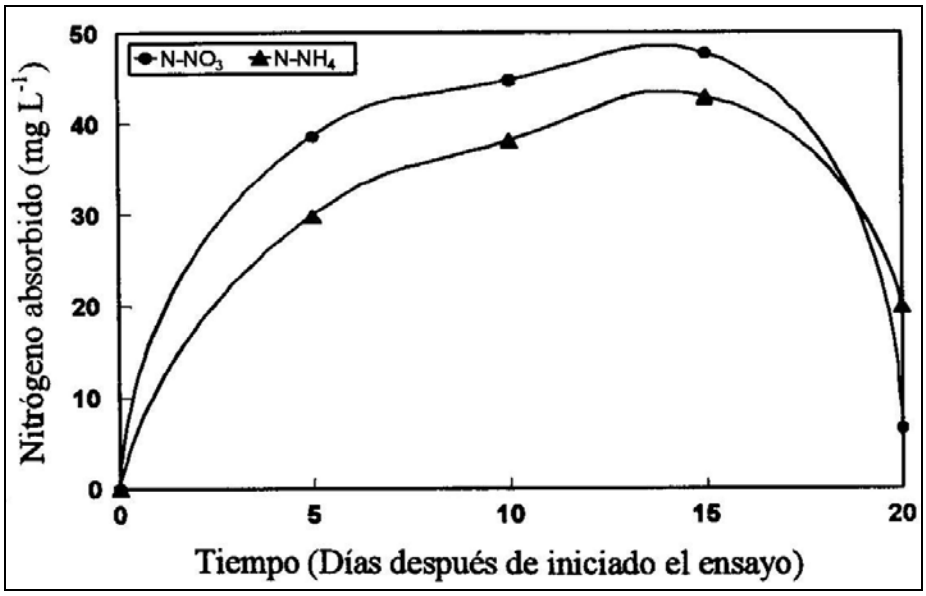

Figura 2. Absorción de $N\text{-}NO_3$ y $N\text{-}NH_4$ en plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill. en condiciones de hidroponía (Gallegos *et al.,* 2000).

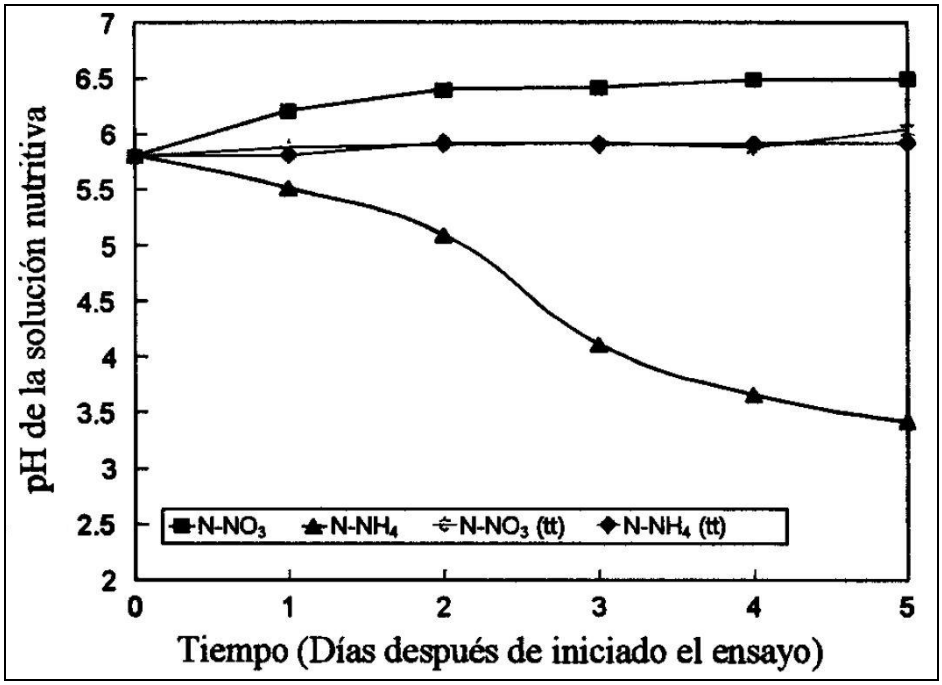

Figura 3. Cambios en el pH de la solución nutritiva producidos por plantas de *Opuntia ficus-indica* L. Mill sometidas a las fuentes de $N\text{-}NO_3$ y $N\text{-}NH_4$ (Gallegos *et al.,* 2000).

Formulas de Soluciones más Utilizadas en Hidroponía

Todo lo anterior es de vital importancia debido a que cuando se diseña la composición de nutrientes de una solución nutritiva se debe tener en cuenta los límites máximos y mínimos de las especies iónicas y de sus proporciones mutuas a fin de proporcionar a la planta las condiciones idóneas para su nutrición y evitar la precipitación de sales. También estas condiciones deberán tomarse en cuenta en cualquier intento de reciclaje de solución nutritiva a fin de que la adición de los nutrientes consumidos, a través de las sales fertilizantes, mantenga las proporciones de consumo de nutrientes en los niveles establecidos.

El *Triángulo de Relaciones de Proporciones Mutuas* de nutrientes propuesto por Steiner (1980 y 1984), relaciona las proporciones óptimas de aniones y cationes en una solución nutritiva. Si se toma esto como referencia las concentraciones utilizadas o por utilizar por algunos autores, se podrían esperar diferencias a lo adecuado para las plantas, según Steiner, 1980.

Cuadro 2. Composición en la concentración de soluciones nutritivas estándar, en mmol l^{-1} (Saavas, 2001).

Macronutrientes	Hoagland y Arnon (1938)	Sonneveld y Straver Pepini	Sonneveld y Straver Rosas
NO_3^-	14.0	16.00	11.00
$H_2PO_4^-$	1.0	1.25	1.25
$SO_4^=$	2.0	1.375	1.25
K^+	6.0	8.00	4.50
NH_4^+	1.0	1.25	1.50
Ca^{++}	4.0	4.00	3.25
Mg^{++}	2.0	1.375	1.125

mmol l^{-1} = ppm peso molecular^{-1}

En el Cuadro 3, Carrasco e Izquierdo (1996), mencionan que las formulaciones de una solución nutritiva se refieren a la concentración de los elementos nutritivos que la componen, expresados generalmente, en partes por millón (ppm), miligramos por litro (mg/l) o gramos por 1000 litros (g 1000 l^{-1}). Existen un gran número de formulaciones que difieren en los fertilizantes utilizados para aportar los elementos nutritivos, pero no mayormente en los rangos de concentración óptimos de cada

elemento, como se muestra en el Cuadro 3. La forma en que manejaron la solución nutritiva se muestra en la Foto 2 y 3, lo cual les permitió el reciclaje de la misma.

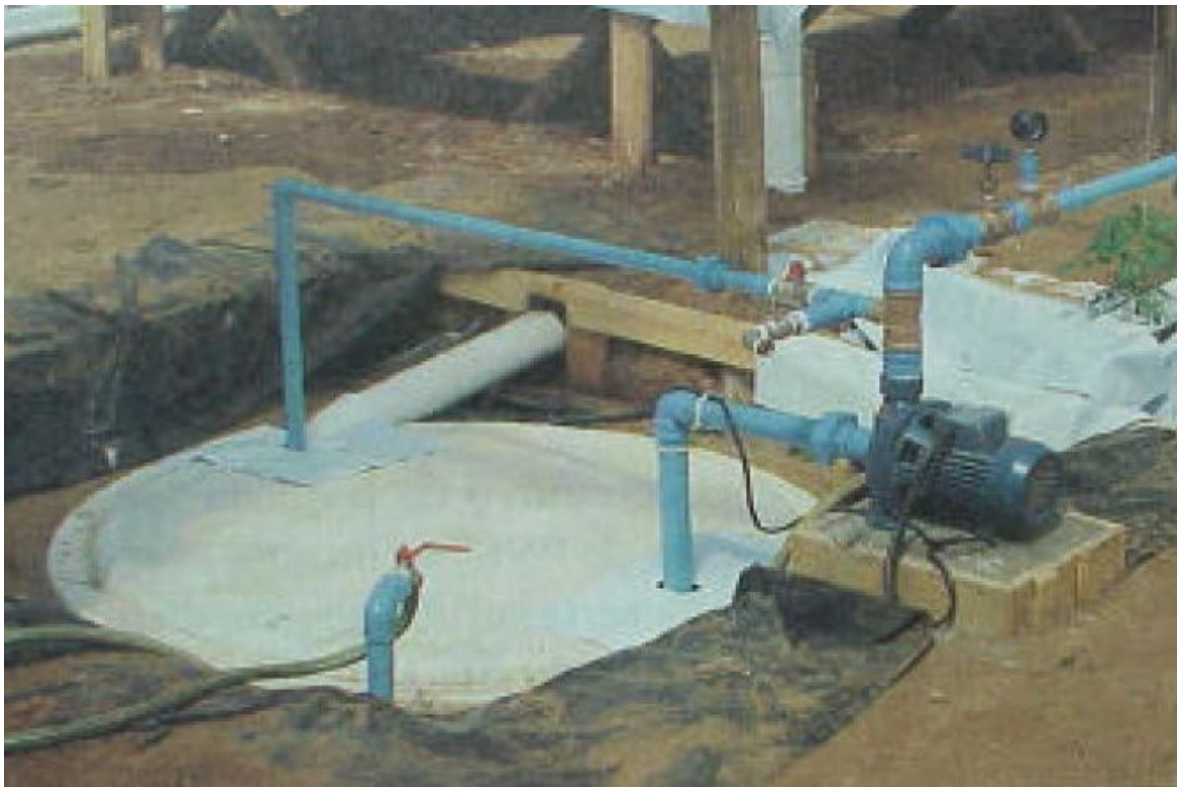

Foto 2. Estanque y Bomba impulsora no sumergible (Carrasco e Izquierdo, 1996).

Ejemplo de cálculo de ppm a mmol l^{-1}. En el caso del calcio, este tiene un peso molecular de 40 g y Hoagland y Arnon propones 160 ppm (Cuadro 3) por lo tanto la ecuación dice mmol l^{-1} =. ppm /(peso molecular) = 160/40 = 4 mmol l^{-1} lo que coincide con lo mostrado anteriormente (Cuadro 2).

Izquierdo (2003), trata de aglutinar las condiciones necesarias para establecer una explotación de tipo comercial hidropónica y menciona los criterios más importantes para ubicar una huerta hidropónica popular: 1er se debe disponer de un mínimo de 6 horas de luz solar al día en el lugar elegido, 2º Estar próximo a una fuente de suministro de agua, 3er No estar expuesto a vientos fuertes, 4º Estar próximo al lugar donde se preparan y guardan los nutrientes hidropónicos, 5º No estar excesivamente sombreados por árboles o construcciones, 6º Contar con protección para evitar el acceso de animales domésticos, 7º Proteger el área contra condiciones extremas del

clima y 8º Evitar los focos de contaminación con aguas de mala calidad y o suelos muy pobres o contaminados.

Foto 3. Estanque y Bomba no sumergible con tubo descarga PVC usados para reciclar la solución nutritiva (Carrasco e Izquierdo, 1996).

Cuadro 3. Rangos de concentración de elementos minerales esenciales (ppm) de diversos autores (Carrasco e Izquierdo, 1996).

	Hoagland y Arnon (1938)	Hewitt (1966)	FAO (1990)	Jensen (s/fecha)	Larsen (s/fecha)	Cooper (1979)	Steiner (1984)
N	(1) 210	(2) 168	(3) 150-225	(4) 106	(5) 172	(6) 200-236	(7) 167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48	--	64	158	68	--
Fe	2,5	2,8	3-6	3,8	3	12	2-4
Mn	0,5	0,54	0,5-1	0,81	1,3	2	0,62
B	0,5	0,54	0-0,4	0,46	1	0,3	0,44
Cu	0,02	0,064	0,1	0,05	0,3	0,1	0,02
Zn	0,05	0,065	0,1	0,09	0,3	0,1	0,11
Mo	0,01	0,04	0,05	0,03	0,07	0,2	--

Fuente: (1),(2),(3) y (7) en Windsor and Schwarz (1990); (4)y (5) en Lorenz and Maynard (1988); (6) en Cooper (1988)

Mondragón y Pérez (2003), propone áreas semicomerciales donde utiliza un sistema hidropónico con subirrigación y sustrato de grava como medio de crecimiento para la producción de nopal forrajero, el cual contiene los siguientes componentes:

i) Tanque para el almacenamiento de la solución nutritiva.
ii) Bancales de plantación. De forma rectangular, cubriendo 18 m^2 cada uno de 15 m de largo por x1.2 m de ancho y 0.30 m de profundidad.
iii) Medio de crecimiento. Grava volcánica roja, de granulometría entre 5 y 20 mm. La grava, lava triturada, grava de basalto, porosa o no porosa o cualquier otro medio rocoso inorgánico pueden ser también usados.
iv) Tanques de distribución. Construidos de mortero y tabiques, distribuyen y drenan la solución nutritiva.
v) Red hidráulica. Una bomba de gasolina (4 HP) provee la fuerza y es conectada a una red de tubos de PVC de 50 mm.

La solución nutritiva del Cuadro 4, se preparo en base a productos comerciales. Se pueden usar dos métodos de preparación: soluciones madre o mezcla seca de fertilizantes comerciales. En ambos métodos, los fertilizantes de baja solubilidad son disueltos con anticipación y luego agregados a la solución. Después son agregados los productos de reacción ácida, enseguida se adicionan los micronutrientes.

Cuadro 4. Solución nutritiva estándar utilizada en el trabajo (Mondragón y Pérez, 2003).

Fuente	g/m^3 de agua	Nutrimento
Nitrato de potasio	150 – 250	N
Ácido fosfórico	40	P
Nitrato de potasio	289.4 – 350	K
Nitrato de calcio	210	Ca
Sulfato de magnesio	40	Mg
Sulfato ferroso	12	Fe
Sulfato de cobre	0.1	Cu
Sulfato de zinc	0.2	Zn
Ácido bórico	0.6	B

El pH se debe mantener alrededor de 6.5, agregando ácido fosfórico o nítrico, de acuerdo a los valores registrados, con promedios de conductividad eléctrica de 3.5 dS m^{-1} o mS cm^{-1}. La solución nutritiva se reemplaza cada 15 días, después de que las plantas hayan consumido dos tercios del volumen inicial.

La solución nutritiva se mueve del tanque de almacenamiento debido a la succión de la bomba, y entonces es depositada en los tanques que alimentan la red de distribución y a su vez a las camas del nopal. La misma fuerza negativa forza a la solución hacia la superficie de las camas de cultivo. Una vez que la solución inunda el medio, la bomba se detiene y comienza el drenaje por gravedad. Las camas de cultivo son llenadas por pares. La solución nutritiva entra brevemente en contacto con las raíces, reduciendo la evaporación y los riesgos de problemas de pudriciones. Los mecanismos clave del sistema son la recirculación y el drenaje eficiente de la solución. En el Cuadro 5, se evaluó la eficiencia del uso del agua (EUA) bajo condiciones hidropónicas de 30 materiales forrajeros y algunos de doble propósito, de los cuales se observó que los materiales que tenían una mejor EUA fueron los RSA con 2.51 g ms^{-1} l^{-1} de agua consumida, siguiéndole el RSR con 2.36 g ms^{-1} l^{-1}, después el cultivar 34 y el S34 sucesivamente. Lo anterior da una idea clara de que el sistema hidropónico es mucho más eficiente que un sistema tradicional con riego rodado.

El contenido de proteína es uno de los factores limitantes más importantes para la gente así como para el ganado (Fuentes, 1992). El contenido de proteína cruda en nopal silvestre varía de 2.72 a 5.8, lo que se considera insuficiente para cubrir las necesidades de bovinos y ovinos, y si se usara como única fuente conduciría a pérdidas de peso.

El contenido de proteína del nopal obtenido en hidroponía varió de 11.72 a 18.07 por ciento para el cultivar LCNF y Pabellón Amarillo respectivamente. Estos valores cubren los requerimientos mínimos para bovinos, ovinos y caprinos en pastoreo.

Vázquez *et al*. (2009a), presentaron un trabajo sobre la producción hidropónica semicomercial de nopal verdura, utilizando agua con altos contenidos de sales. Se usaron contenedores de forma rectangular (15.0 m x 1.10 m x 0.2 m), donde el agua de riego disponible tenía alto nivel de salinidad (4.2 mS cm^{-1}). Se balanceo con una solución nutritiva, aplicándola por sub-irrigación hasta saturación. El agua de riego se recicló a una cisterna para su uso posterior, revisando periódicamente el pH,

procurando mantenerlo entre 5.5-6.6 y en el caso de la C.E lo optimo sería mantenerla en 2 mS cm^{-1}, sin embargo el agua disponible para este experimento fue salina. El retorno de la solución nutritiva se efectuó a través del mismo tubo alimentador colocando en la cabecera de la cama de siembra el contenedor, ubicado a nivel del suelo y de un volumen de 1.5 m^3. En la practica, el reemplazo de la solución nutritiva, esta determinada por la relación entre el volumen de la solución retenida en un riego y la tasa de absorción y crecimiento de la plata. Por otro lado, el nivel de remoción de nutrientes de la solución, que quedan remanentes en el contenedor de reciclaje, se basa en la velocidad de absorción de los mismos. Los elementos esenciales de Absorción Activa (que son de Remoción Rápida), el $N\text{-}NO_3$, $N\text{-}NH_4$, P, K, Mn, son los que primero se reducen, después le siguen los de Absorción Intermedia como el Mg, Fe, Zn, Cu, Mo y Cl los cuales no afectan el balance de la solución y finalmente se tiene los de Absorción Pasiva (que son de Remoción Lenta), como el Ca, B, S los cuales aumentan la concentración de la solución. Por lo antes mencionado se considera que el reemplazo de dicha solución se debe efectuar de los 12 a 15 días (Calderón, 2001).

El sustrato fue una mezcla de 73.88 % de arena, 12.72 % de limo y 13.40 % de arcilla, fue previamente lavado y desinfectado con una solución con base en ácido sulfúrico grado técnico. La solución nutritiva utilizada fue la sugerida por Robbins (1946): 282 ppm de N, 60 ppm de P, 250 ppm de K, 200 ppm de Ca, 50 ppm de Mg, 0.5 ppm de Fe, 0.25 ppm de Zn, 0.25 ppm de Mn, 0.25 ppm de B, 0.02 de Cu, y 0.01 ppm de Mb. Los cultivares de nopal (*Opuntia ficus-indica*) fueron: Villanueva, Jalpa, COPENA–V1, y COPENA-F1. Se realizaron 22 cosechas (cortes) de nopalito, una vez por semana cada cosecha. El primer corte se efectuó dos meses después de la plantación. En cada corte y cultivar se evaluaron las siguientes variables: rendimiento (fresco), número de brotes, largo y ancho del nopalito, peso fresco, volumen y número de nopalitos. El diseño experimental utilizado fue un bloques al azar, con cuatro tratamientos constituidos por los cuatro cultivares con dos repeticiones.

En el Cuadro 6 se observan, los promedios de las variables componentes del rendimiento para cada cultivar. Se discriminaron las variables usando intervalos de

confianza (95 %) de cada tratamiento. Los valores mayores de rendimiento, longitud y diámetro de nopalito fueron observados en el cultivar Villanueva. Para estas tres variables el cultivar COPENA-V1 presentó los valores mayores. Las valores de volumen en cm^3, el Área foliar en cm^2, el número de cladodios en forma decreciente fueron presentados por los cultivares Jalpa y COPENA-F1 para estas mismas variables.

Cuadro 5. Eficiencia del uso de agua del nopal cultivado hidroponía (Mondragón *et al.*, 2003)

Genotipo	**Rendimiento** ($g\ ms^{-1}$año/m^2)	**EUA** ($g^{-1}\ ms\ L^{-1}$)
RSA	2173.00	2.51
RSR	2041.03	2.36
34	1697.06	1.96
S34	1547.6	1.79
70	1531.70	1.77
Milpa Alta	1238.61	1.43
Villanueva	1173.95	1.35
Selección Pabellón	991.10	1.14
Pabellón amarillo	916.90	1.06
COPENA	689.00	0.80

Cuadro 6. Promedios de variables componentes del rendimiento en 22 fechas de corte de nopalito.

CULTIVARES	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Grosor (mm)	Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$)	Volumen (cm^3)	Área foliar (cm^2)	No. de cladodios
Villanueva	15.22	7.57	6.2	3137.4	744.8	119.7	7.9
Jalpa	15.18	6.82	5.6	2521.8	634.2	109.5	7.1
COPENA F-1	15.50	5.23	5.8	2409.5	564.8	90.6	5.6
COPAENA V-1	14.69	7.32	6.6	2893.0	756.9	111.4	7.5
Significancia	N.S.	*	*	*	*	*	*

Fuente: Vázquez *et al*. (2009a).

Los rendimientos totales de los 22 cortes realizados no presentaron diferencias significativas, pero es importante destacar que a pesar de que se utilizó agua con un nivel de 4.2 dS m^{-1}, el cultivar Villanueva alcanzo 69 t ha^{-1}, siguiendo COPENA v1 con 63 t ha^{-1}, después siguió Jalpa con 55 t ha^{-1} y finalmente el cultivar COPENA F1 con 53 t ha^{-1}. Los resultados anteriores indican que cuando se cuanta con aguas

salinas, es posible balancear sus sales componentes, si es que se usa un sistema de producción hidropónica, donde se pueden alcanzar rendimientos costeables para los productores. Los rendimientos comerciales de nopal verdura en el estado de Sonora se ubica en 80 t ha^{-1}, en Morelos 70 t ha^{-1} y el Distrito Federal, Baja California, Jalisco y Oaxaca con 60 t ha^{-1} respectivamente. Los rendimientos obtenidos en el presente estudio superan los rendimientos promedio de algunas otras entidades de México donde se reportan rendimientos con variación desde 80 hasta las 60 t ha^{-1} por año (SIAP, 2007; Vázquez *et al*., 2009b).

Bibliografía

Ansorena M., J. 1994. Fundamentos de nutrición. En Sustratos. Propiedades y Características. Ediciones Mundi Prensa. Madrid.

Calderón P., N., A. A. Estrada L. y J. de J. Martínez H. 1997. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* spp.). pp. 165-166. *In:* R. Vázquez A., C. Gallegos V., N.E. Treviño H. y Y. Díaz T. (eds.). Conocimiento y aprovechamiento del nopal. Memorias del 7º Congreso Nacional y 5º Internacional. Universidad de Monterrey, NL., México.

Calderón O., A. A. Sustratos Agrícolas. http://www.viverosmininco.cl/documentos/Sustratos.pdf.

Calderón O., A. A. 2001. Control de variables hidropónicas. En http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/ Control_De_Variables_Hidroponicas.htm

Carrasco G. y J. Izquierdo. 1996. Manual técnico La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Por la Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Universidad De Talca.

Castellanos Z., J., P. Vargas T. 2003. El uso de sustratos en la horticultura bajo invernaderos. J. Castellanos Z. (ed) 2ª ed INTAGRI. México pp 124-150.

Ciencia Comité Norte. 2009. Vegetación de matorral del ejido Icamole en el municipio de García N. L. http://ciencia.comitenorte.org.mx.

CONAZA. 1993. Plan de Acción para el Combate a la Desertificación en México. Primera Edición. Saltillo, Coah. pp 160. http://www.conaza.gob.mx/libro/bibliografia.pdf.

De la Cruz C. J. A. 2009. La desertificación en el estado de Nuevo León. pp 265-275. En el Ecocidio Mexicano, Ignorancia y Perversidad. 336 p. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Primera Edición. ISBN. 978-607-7692-05-8.

Fuentes, R. J. M. 1992. Feeding cactus pear to dairy cattle in northern México. Third Annual Texas Prickly Pear Council. Kingsville, Texas.

Gallegos V., C., E. Olivares S., R. Vázquez A. y F. Zavala G. 2000. Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. En Terra volumen 18 numero 2, pp 133-139.

García G., E.; M. Leal P.; E. González J. 2008. Evaluación de dos sistemas hidropónicos (abierto y cerrado) con relación al uso de solución hidropónica reciclada y producción de jitomate de exportación. En *Tecnólog@* Vol. 1, No. 2, pp 54-66. CICATA-Querétaro-IPN. ISSN en trámite. México.

Gericke W.F. 1935. Photographs of experimental soilless cultivation of plants. Collection Number: UARC ALBUM 34 UC Archives. California Agricultural Experiment Station.

Gobierno del Estado de Nuevo León. 2009. Recursos Naturales de Nuevo León. www.nl.gob.mx/?P=nl_recursos_naturales.

Handreck, K. and N. Black. 1991. Growing media for ornamental plants and turf. Australia, New South Wales University Press, 4001p.

Hartmann, H. y D. Kester. 2002. Plant propagation. Principles and practices. Prentice Hall. New Jersey. 880 p.

Izquierdo, J. 2003. FAO. Proyecto Regional para la superación de la Pobreza en América Latina y el Caribe (RLA/86/004), desarrollado por el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo. www.rlc.fao.org/prior/segalim/aup/

Jorba, M., y R. Vallejo. 2008. La restauración ecológica de canteras: un caso con aplicación de enmiendas orgánicas y riegos. Ecosistemas. 17, 119-132.

Leiva F., C. 2009. Historia de la Hidroponía. En www.corazonverdecr.com/historia.htm

Márquez H., C., P. Cano R. y N. Rodríguez D. 2008. Uso de sustratos orgánicos para la producción de tomate en invernadero. Agricultura Técnica en México Vol. 34 Núm. 1 Enero-Abril 2008 p. 69-74.

Márquez H., C. y P. Cano R. 2005. Producción orgánica de tomate cherry bajo invernadero. Actas Portuguesas de Horticultura 5:219-224.

Massad F. y A. Guerrero Y. 2006. Azoteas verdes, jardines en las alturas. http://foroarchivo.infojardin.com/diseno-jardines-paisajismo/t-186304.html.

Mondragón-Jacobo C. y S. Pérez-González. 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. p 124-126. Estudio FAO de Producción y Protección Vegeta, 169. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Rome 2003 ISSN 1014-1227.

Mondragón J., C., S. de J. Méndez G. y G. Olmos O. 2003. El cultivo de Opuntia para la producción de forraje de la reforestación al cultivo hidropónico: p 116-134. En El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO de Producción y Protección Vegeta, 169. http://www.fao.org/docrep/007/y2808s/y2808s0f.htm

Ojodeagua Arredondo J. L.; Javier Z. Castellanos Ramos; J. J. Muñoz Ramos; G. Alcántar González; L. Tijerina Chávez; P. Vargas Tapia; S. Enríquez Reyes. 2008. Eficiencia de suelo y tezontle en sistemas de producción de tomate en invernadero. En Revista Fitotecnia Mexicana, octubre-diciembre, año/vol. 31, número 004 Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México pp. 367-374

Resh, H. M. 1992. Cultivo en arena, Cap. 7. En Cultivos hidropónicos. Nuevas Técnicas de producción. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, España.

Robbins, W.R. 1946. Growing plants in sand cultures for expeimental work. In Soil Science 62:3-22.

Samperio R., G. 2002. Hidroponía comercial, 6ª impresión. Por Editorial Diana S. A. de C. V. Impreso en México.

Sánchez C., A. M. 2000. Hidroponía, una gota viva de esperanza. Programa de Capacitación Productiva. (PRO.CA.PRO. – JUNAE – DINAE. MTSS). asanchez@mtss.gub.uy

Santander F. 2007. Manual de hidroponía popular. Copyright www.elmejorguia.com 2005-2007. http://www.elmejorguia.com/hidroponia/La-hidroponia-popular.htm

Savvas, D., 2001. Nutritional management of vegetables and ornamental plants in hydroponics. In: Dris, R., R. Niskanen, and S.M. Jain (eds). Crop Management and Postharvest Handling of Horticultural Crops. Volume I: Quality Management. Science Publishers, Enfield, N.H., U.S.A.: pp. 37- 87.

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2007. SIACON 1980-2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), México. Página web: http://siap.gob.mx

Steiner, A.A., 1980. The selective capacity of plants for ions and its importance for the composition and treatment of the nutrient solution. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Proccedings Fifth International Congress on Soilless Culture, Wageningen, The Netherlands. 83-96.

Steiner, A.A., 1984. The universal nutrient solution. International Society for Soilless Culture (ISOSC). Proccedings Sixth International Congress on Soilless Culture, Lunteren, The Netherlands. 633-650.

Vázquez-Alvarado, R. E., E. Salazar-Sosa, J. L. García-Hernández, E. Olivares-Sáenz, C. Vázquez-Vázquez, J. D. López-Martínez, I. Orona-Castillo. 2009a. Producción de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) en hidroponía empleando agua con alto contenido de sales. J. PACD (2009) 11: 13–17. http://www.respyn.uanl.mx/especiales/2009/ee-02-2009/index.html

Vázquez-Alvarado R. E., R. Valdez-Cepeda, y F. Blanco-Macias. 2009b. Riego y fertilización del nopal verdura. Memorias del VII Simposium-Taller "Producción y Aprovechamiento del Nopal en el Noreste de México". Revista Salud Pública y Nutrición. Edición Especial No. 2.

Villarreal R. M., E. R. García, E. T. Osuna, B. A. Armenta. 2000. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad de poscosecha de tomate en fertirrigación. Terra 20: 311-320.